

L'ASCOLTO SOTTO I 500 kHz

di Ezio Mognaschi

L'ascolto sotto i 500 kHz

SOMMARIO

1. Introduzione
2. Lo spettro delle onde elettromagnetiche
3. Rassegna dei diversi servizi presenti sotto 500 kHz
 - 3.1 Radiodiffusione in OL
 - 3.2 Stazioni di tempo e frequenza
 - 3.3 GWEN (Ground Wave Emergency Network)
 - 3.4 LOWFERS (Low Frequency Experimenters)
 - 3.5 Sistemi di radionavigazione
 - 3.6 Radlofari
 - 3.7 Stazioni radiotelegrafiche
 - 3.8 La frequenza internazionale di soccorso (500 kHz)
 - 3.9 Il progetto Sanguine/Seafarer
 - 3.10 Stazioni FAX e meteo
4. Radio Natura
 - 4.1 Rumori di origine naturale
 - 4.2 Brillamenti solari
 - 4.3 Monitoraggio dell'attività tellurica e previsione dei terremoti
5. Altre sorgenti ed applicazioni di segnali elettromagnetici in VLF
 - 5.1 Comunicazioni via terra ed attraverso la terra
 - 5.2 Comunicazioni in banda ELF
 - 5.3 Segnali a frequenza di rete e sue armoniche
 - 5.4 Segnali ad onda convogliata lungo le linee elettriche, telefoniche e simili
 - 5.5 Scie di missili
 - 5.6 Esplosioni nucleari
 - 5.7 Esperimenti sulla propagazione attraverso la ionosfera in banda VLF
 - 5.8 Studi geofisici
 - 5.9 Onde cerebrali
 - 5.10 Tomografia d'impedenza
6. Come ricevere le VLF
 - 6.1 Ricevitori commerciali
 - 6.2 Convertitori per VLF
 - 6.3 Ricezione senza conversione di frequenza
 - 6.4 Antenne riceventi per VLF
7. Riferimenti
 - 7.1 Clubs, gruppi, pubblicazioni periodiche
 - 7.2 Ditte costruttrici
 - 7.3 Bibliografia
8. Ringraziamenti

1. INTRODUZIONE

Quella porzione dello spettro delle onde elettromagnetiche che si estende in frequenza al di sotto delle onde medie, poco conosciuta e nella quale l'attività di ricezione viene svolta solo da pochi appassionati, può offrire all'ascoltatore, contrariamente a quanto comunemente si crede, una grande ed affascinante varietà di segnali. Difficilmente in altre parti dell'immenso spettro elettromagnetico, che virtualmente non ha né un limite inferiore, né uno superiore, si trovano così tanti tipi di segnali: comunicazioni telegrafiche di navi ed aerei, radiofari marittimi ed aeronautici, stazioni campione di tempo e di frequenza, segnali per la radionavigazione iperbolica (Omega, Alfa, Loran-C, Decca), mappe meteorologiche, telefoto, radiodiffusione, comunicazioni militari segrete con sommergibili in immersione e segnali di origine naturale dovuti a fenomeni complessi che hanno luogo nella ionosfera, nell'atmosfera e nella litosfera cioè sia al di sopra che al di sotto della superficie terrestre.

Tutti questi segnali si accalcano in quei 500 kHz che pochi ricevitori commerciali sono in grado di esplorare in modo completo e soddisfacente.

Anche il fenomeno dei brillamenti solari può, inoltre, essere rivelato indirettamente, come vedremo, attraverso l'analisi dell'intensità del segnale di stazioni operanti in onde lunghe.

Relativamente pochi appassionati di radio sono in grado di frequentare lo spettro delle onde lunghe e lunghissime e conoscono le emissioni presenti a frequenze inferiori a 500 kHz ed un ristretto numero di sperimentatori si dedica a studiare, anche in questa parte dello spettro elettromagnetico, quello che sta intorno a noi e quello che avviene lontano o vicino a noi.

Lo scopo di questa monografia è di presentare una panoramica delle attività presenti in onde lunghe, sia ad opera dell'uomo, sia dovuta a fenomeni naturali, e di far conoscere le attuali applicazioni dei campi elettromagnetici a basse e bassissime frequenze. Queste applicazioni non sono affatto limitate alle telecomunicazioni, ma coinvolgono ricerche di geofisica, di astrofisica, di fisica della ionosfera e costituiscono persino un recentissimo mezzo di indagine non invasivo per la diagnosi dello stato interno del corpo umano.

Sull'argomento della ricezione delle onde lunghe e lunghissime esistono pubblicazioni che si possono classificare in due categorie ben differenziate: a) pubblicazioni specifiche, molto approfondite dal punto di vista scientifico e tecnico e quindi di difficile lettura, b) pubblicazioni di carattere generale che dedicano alle onde lunghe al massimo un capitolo, nel contesto generale degli argomenti trattati. In quest'ultimo caso è evidente che la trattazione dell'argomento onde lunghe è necessariamente confinato entro limiti piuttosto ristretti. Non esite, almeno in lingua italiana, che io sappia, una pubblicazione cui fare riferimento e che tratti in modo completo ed esauriente l'argomento onde lunghe o, se si preferisce, tutto quello che concerne la ricezione delle frequenze basse e molto basse. Sono infatti molti gli aspetti da considerare: da quello strettamente tecnico della ricezione, a quelli scientifici legati alla propagazione, a quelli meramente informativi (elenchi di stazioni e di fre-

quenze) a quelli storici al fine di fornire un'informazione ampia sull'argomento. Questa monografia non ha la pretesa di trattare in modo completo ed esauriente l'argomento, ma vuole solo fornire un contributo alla diffusione delle conoscenze nel campo delle onde lunghe.

2. LO SPETTRO DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

Per iniziare prendiamo in considerazione la suddivisione dello spettro elettromagnetico così come è stata operata dalla International Telecommunication Union (ITU). La parte di spettro prevalentemente utilizzata per le telecomunicazioni è stata suddivisa in 12 bande, come si può vedere in Tabella I, numerate progressivamente con un numero N che definisce, in frequenza, i limiti inferiore e superiore di ciascuna banda. La banda N-esima si estende infatti da $310N-1$ a $310N$ Hz. Le bande più comunemente utilizzate sono state anche designate con una sigla ottenuta dalla giustapposizione delle iniziali di un aggettivo scelto tra *very*, *ultra*, *super* ed *extra* e di un secondo aggettivo qualificativo *high*, *medium* o *low* che precedono la *F* di *frequency*.

Si deve però ricordare che, in senso lato, con il nome generico di VLF (Very Low Frequencies), si intende tutta la gamma di frequenze al di sotto del limite inferiore della banda di radiodiffusione in onde medie (in Europa 526,5 kHz), mentre con il nome ELF si designano le frequenze sotto i 3 kHz.

Tabella I - Suddivisione delle frequenze radio secondo la International Telecommunication Union.

Banda	Nome	Intervallo di frequenza	lunghezza d'onda
12		3000 GHz	0.1 mm
11	EHF	300 GHz	1 mm
10	SHF	30 GHz	1 cm
9	UHF	3 GHz	10 cm
8	VHF	300 MHz	1 m
7	HF	30 MHz	10 m
6	MF	3 MHz	100 m
5	LF	300 kHz	1 km
4	VLF	30 kHz	10 km
3		3 kHz	100 km
2	ELF	300 Hz	1000 km
1		30 Hz	10000 km
		3 Hz	100000 km

Per esaminare più in dettaglio la gamma delle VLF bisogna fare riferimento, per le linee generali, all'assegnazione delle frequenze effettuate dalla ITU nella Conferenza di Ginevra del 1975 tenendo presente però che, di fatto, esistono numerose eccezioni nell'uso di detta gamma di frequenze specialmente da parte di paesi dell'est europeo. Bisogna inoltre ricordare che le frequenze al di sotto di 9 kHz non sono state assegnate, ma gli accordi internazionali vigenti prevedono che le Amministrazioni nazionali competenti autorizzino l'uso di tali frequenze con l'unico vincolo di assicurare l'assenza di interferenze dannose ai servizi per le quali sono assegnate le frequenze al di sopra di 9 kHz. Nella Tabella II sono riportate, in modo sommario, le assegnazioni ai servizi primari al di sotto della banda di radiodiffusione in OM. Per maggiori dettagli, in particolare tra 70 e 90 kHz e tra 110 e 495 kHz, si vedano pubblicazioni specifiche come il Krebsler o il Klingenfuss (v. Bibliografia).

Tabella II. - Schema dell'assegnazione delle frequenze nelle diverse Regioni.

Freq. (kHz)	Regione 1 Europa + ex URSS e Africa	Regione 2 Americhe	Regione 3 Asia - ex URSS e Oceania
RADIODIFFUSIONE OM			
500	526,5	535	535
FREQUENZA INTERNAZ. DI SOCCORSO.			
RADIOFARI MARITTIMI ED AERONAUTICI			
300	283,5		
200	200		
	RADIODIFF.OL 15 canali	190 GWEN/LOWFERS 160	
	148,5		
100	110	110	110
RADIONAVIGAZIONE (L O R A N - C)			
	90	90	90
FISSO, MARITTIMO MOBILE, RADIONAVIG.			
50	70	70	70
FISSO, MARITTIMO MOBILE (CW, RTTY)			
30	30		
20	20		
SEGNALI FREQUENZA/TEMPO CAMPIONE			
FISSO, MARITTIMO MOBILE (CW, RTTY)			
	14	14	14
10	RADIONAVIGAZIONE (O M E G A, A L F A)		
	9	9	9
frequenze < 9 kHz non assegnate			

Da queste disposizioni si deduce che è innanzitutto previsto l'uso di queste frequenze e si può ragionevolmente ritenere che esse vengano utilizzate sia per esperimenti che per telecomunicazioni in quei particolari casi in cui si imponga la necessità del loro uso.

A questo punto ci si può porre la domanda: perché usare frequenze così basse come quelle delle VLF? E più in generale: perché le onde lunghe, dal momento che la tecnologia contemporanea mette a disposizione amplissime bande di frequenza per telecomunicazioni nelle microonde? Ed inoltre: non è sufficiente e ben collaudato l'uso del resto dello spettro elettromagnetico? Prima di cercare di rispondere a questi quesiti vediamo, sul piano storico, qualche dato sullo sviluppo delle telecomunicazioni. Prendiamo come punto di partenza l'esperimento di Marconi del 1901 per il collegamento transatlantico tra Poldhu in Cornovaglia e Terranova, effettuato su di una frequenza di circa 150 kHz. Negli anni successivi sia Marconi che gli altri pionieri della radio concentrarono la loro attenzione sull'uso dell'onda di terra (l'unica allora conosciuta) ed, allo scopo di aumentare il raggio di copertura, cercarono di utilizzare lunghezze d'onda sempre maggiori. Ma dal 1916, allo scopo di aumentare la segretezza delle telecomunicazioni, Marconi introdusse l'uso delle "onde a fascio", cioè di onde decimetriche. Successivamente, con la scoperta della riflessione ionosferica delle onde corte e dell'onda di cielo, si assistette ad uno sviluppo delle telecomunicazioni lungo due direttrici divergen-

ti come mostrato nella Fig. 1 e cioè: 1) verso frequenze sempre più alte allo scopo di aumentare la capacità di convogliare messaggi in quanto la larghezza di banda disponibile alle varie frequenze è, grosso modo, proporzionale alla frequenza stessa; 2) verso frequenze sempre più basse allo scopo di sfruttare le proprietà specifiche delle onde lunghe, cioè la scarsa influenza delle condizioni ionosferiche sulla propagazione di queste onde e la possibilità di copertura di tutto il globo terrestre con l'uso di potenze adeguate.

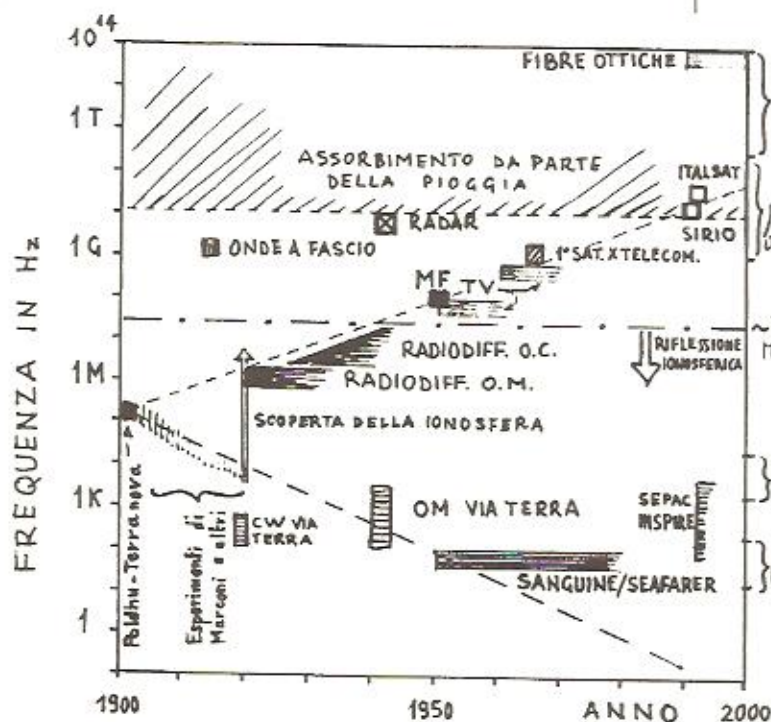


Fig. 1 - La dicotomia nello sviluppo delle telecomunicazioni.

In questa sede ci interesseremo solamente delle onde lunghe e passeremo in rassegna i vari servizi e le diverse attività che hanno luogo sotto i 500 kHz. È però importante tenere presente che il panorama che può osservare un ascoltatore europeo è sostanzialmente differente, in molti aspetti, da quello che si può osservare in America o nell'Estremo Oriente in quanto l'assegnazione delle bande ai diversi servizi è differente nelle tre regioni. Viceversa, per alcuni servizi di radionavigazione e di telecomunicazione che hanno carattere globale, l'assegnazione delle frequenze è comune a tutte le regioni e queste emissioni possono essere ricevute in tutto il mondo sulle stesse frequenze.

Alla rassegna dei servizi esistenti e dei segnali ricevibili sotto 500 kHz vorrei premettere alcune considerazioni personali sulla ricezione dei segnali radio inoltrandomi nell'infido terreno dell'interpretazione della legge e valendomi della sottile arte del distinguere.

La legge vigente (art. 23 del Regolamento Internazionale delle Telecomunicazioni del 1959) cerca goffamente di tutelare in qualche modo gli Stati e le organizzazioni pubbliche e potenti contro i singoli cittadini, minacciando sostanzialmente di punire i curiosi. Infatti, proibisce due cose: a) l'intercettazione senza autorizzazione di radiocomunicazioni che non siano destinate ad uso generale del pubblico e quindi di quelle al di fuori delle bande di radiodiffusione; b) la divulgazione del contenuto o anche soltanto dell'esistenza stessa di tali comunicazioni, ma non proibisce invece di ricevere, studiare, misurare, analizzare i segnali radio ed in generale i segnali elettromagnetici. Il ricevere ad esempio i segnali dei diversi sistemi di radionaviga-

zione, delle stazioni di tempo e frequenza, delle stazioni radiotelegrafiche allo scopo di eseguire prospezioni elettromagnetiche del terreno, la misura dei campi elettromagnetici degli impianti trasmettenti per la tutela della salute di chi opera in prossimità di essi, il ricevere i segnali di origine naturale emessi dai corpi celesti o generati dalla nostra Terra, e l'elenco potrebbe allungarsi ancora, non ricade a mio avviso sotto il divieto citato in quanto l'oggetto della ricezione non è l'intercettazione della comunicazione, ma il segnale in sé.

Personalmente ritengo che un'attività di ricezione e non di ascolto - questa è la differenza - finalizzata allo studio delle proprietà fisiche dei campi elettromagnetici (frequenza, intensità, stato di polarizzazione, angolo di sfasamento tra campo elettrico e magnetico, direzione di provenienza, dipendenza dell'intensità e della fase dalle condizioni di propagazione, ecc.) con l'eventuale identificazione del trasmettitore, non possa essere ritenuta intercettazione di una comunicazione, né riferire quanto osservato possa essere considerato come rivelazione dell'esistenza di una comunicazione. Essa non ricadrebbe quindi nel divieto di legge, bensì costituisce a mio avviso una legittima e meritevole attività volta alla conoscenza del mondo che ci circonda e nel quale viviamo. In altre parole distinguerci due aspetti che in generale sono presenti simultaneamente nei segnali radio: uno materiale, relativo alle loro proprietà fisiche ed uno informatico, relativo alle informazioni che essi possono trasportare. La legge in questione tutela solo quest'ultimo aspetto che può essere presente nei segnali radio, ma non proibisce la conoscenza dell'aspetto fisico dei segnali.

Le leggi che regolano l'attività radio sarebbero più realistiche ed efficaci qualora imponessero la codificazione segreta dei messaggi non destinati alla generalità del pubblico in modo da impedirne la comprensione, piuttosto che proibire l'ascolto "fuori banda", e minacciare in modo invero molto poco efficace, la curiosità degli uomini che è sempre stata la principale spinta verso il progresso.

3. RASSEGNA DEI DIVERSI SERVIZI PRESENTI SOTTO 500 kHz

3.1 Radiodiffusione in OL

In Europa, nel Nord Africa, in Turchia ed in tutta l'ex URSS le frequenze da 283,5 a 148,5 kHz sono utilizzate per il servizio di radiodiffusione. Questo intervallo di frequenze è suddiviso in 15 canali, spazati di 9 kHz, in modo che la frequenza centrale di ciascun canale sia, come avviene anche in OM, un multiplo di 9 kHz. Nella banda delle OL sono attivi alcuni dei più potenti trasmettitori per radiodiffusione. L'elevata potenza dei trasmettitori e la propagazione per onda di terra, caratteristica di queste frequenze, permette una copertura regionale. Di giorno la copertura si estende fino a qualche centinaio di chilometri, mentre di notte può arrivare ad alcune migliaia. Tra le stazioni in OL spicca, per la bassa potenza, quella di Caltanissetta che irradia il secondo programma RAI su 189 kHz con soli 10 kW. La ricezione della stazione di Caltanissetta rappresenta, nel Nord Italia, un'indicazione di ottime condizioni propagative in OL. Negli Stati Uniti la ricezione di stazioni di radiodiffusione in OL è difficoltosa sia per la distanza dai trasmettitori, sia per le interferenze da parte di altri servizi e viene considerata una ricezione di tipo DX.

3.2 Stazioni campione di tempo e frequenza

Nei paesi maggiormente industrializzati è diffusa la necessità di disporre di riferimenti temporali precisi e, pertanto, le rispettive Amministrazioni si sono fatte carico di istituire laboratori nazionali ove vengono conservati i campioni di tempo e frequenza. Per l'Italia sono l'Istituto Elettrotecnico Galileo Ferraris di Torino (che fornisce i segnali orario alla RAI) e l'Istituto Superiore Poste e Telecomunicazioni di Roma, per gli Stati Uniti è il National Bureau of Standards, per la Gran Bretagna il National Physical Laboratory, per la Svizzera l'Observatoire Cantonal di Neuchâtel, per la Germania il Physikalisch-Technische Bundesanstalt e così via.

Il problema di diffondere l'informazione relativa al tempo viene comunemente risolto con l'aiuto della radio in due modi: o con l'uso delle onde corte, generalmente con trasmettitori di piccola potenza, o sulle onde lunghe, in banda LF e VLF, con trasmettitori di maggiore potenza e copertura regionale. L'uso delle OL, rispetto alle corte, offre un vantaggio molto importante: la maggiore stabilità della propagazione in OL, meno influenzata dalle variazioni diurne e stagionali rispetto alle OC. Di conseguenza l'errore nella trasmissione del tempo è molto minore. Tipicamente questo errore è di 2 parti su dieci alla dodicesima in OL ed alcune parti su dieci alla undicesima in OC.

Particolarmente interessante può rivelarsi l'ascolto in banda LF e VLF ove operano in modo regolare molte stazioni di tempo e frequenza che possono essere ricevute con continuità. Alcune di queste stazioni sono vecchie stazioni radiotelegrafiche riconvertite per la nuova applicazione. La zona da esse servita si estende usualmente fino ad un raggio di 1000 km di giorno e di 2500 km di notte. In banda VLF singoli trasmettitori, o reti sincronizzate di trasmettitori, consentono la copertura di tutto il mondo in modo permanente. I segnali VLF costituiscono inoltre, in gran parte del mondo, il solo mezzo per effettuare comparazioni di frequenza senza ricorrere a sistemi troppo costosi.

La Tabella III riporta le principali caratteristiche di emissione di alcune importanti stazioni di tempo e frequenza operanti sotto 500 kHz.

Le emissioni iniziano alle ore sopra indicate e seguono uno stesso schema per tutte e cinque le stazioni: su 25,0 kHz, dal minuto 00 circa al minuto 06 si osserva una portante non modulata, tra il 06 ed il 07 viene trasmessa l'identificazione della stazione in CW, segue ancora una portante non modulata dal 07 al 10, dal 10 al 13 una modulazione in onda quadra simmetrica, dal 13 al 22 il campione di tempo con impulsi ogni decimo di secondo, dal 22 al 25 ancora modulazione in onda quadra simmetrica. Le emissioni passano poi a 25,1 kHz con una portante non modulata tra il minuto 25 ed il 30, su 25,5 kHz tra il 30 ed il 35; su 23,0 tra il 35 ed il 41 e su 20,5 kHz tra il 41 ed il 47 allorché cessano le emissioni.

La stazione a 162 kHz presenta caratteristiche peculiari per quanto riguarda le emissioni di tempo. Essa è la ben nota stazione di Allouis che irradia i programmi di France Inter. Mentre il trasmettitore irradia la normale programmazione in modulazione d'ampiezza, ad ogni secondo la fase della portante viene modulata con una variazione di un radiante che corrisponde ad una variazione molto piccola di frequenza, non rivelabile da un normale ricevitore. Se però si usa un filtro stretto per CW e ci si porta un po' fuori sintonia in modo che la frequenza della portante cada in corrispondenza di uno dei fianchi ripidi del filtro, si possono ascoltare ad ogni secondo i caratteristici pips, mentre i segnali modulati in ampiezza vengono quasi totalmente tagliati dal filtro.

Tabella III - Stazioni campione di tempo e di frequenza operanti sotto 500 kHz. In grassetto sono riportate le stazioni facilmente ricevibili nel Nord Italia.

Frequenza kHz	Stazione	Località	Potenza kW
20,5	vedi testo		
21,4	NSS	Annapolis, USA	
22,3	NWC	Exmouth, Australia	
23,0	vedi testo		
24	NBA	Balboa, USA	
25,0	vedi testo		
25,1	vedi testo		
25,5	vedi testo		
40	JG2AS	Tokio, J	500
50	OMA	Vinohrady, CS	20
60	MSF	Teddington, GB	50
60	WWVB	Boulder, USA	13
75	HBG	Neuchâtel, CH	20
77,5	DCF77	Mainflingen, D	38
88	NSS	Annapolis, USA	
147,85	NBA	Balboa, USA	
162	***	Saarlouis, F	2000
182	DGI	Oranienburg, D	
418	ZSC	Cape Town, Sud Africa	

È stato osservato che, sulle frequenze di 20,5; 23,0; 25,0; 25,1 e 25,5 kHz, sono ricevibili cinque emittenti russe di tempo e di frequenza le cui emissioni, ciascuna della durata di 47 minuti, si susseguono secondo il seguente schema:

Ora UTC	Stazione	Località
0400	USB2	Frunze
0700	UNW3	Kaliningrad
0900	USB2	
1100	UPD8	Arkangelsk
1300	UNW3	
1400	UQC3	Khabarovsk
1600	USB2	
1900	UTR3	Gorki
2100	UPD8	

3.3 GWEN (Ground Wave Emergency Network)

Il sistema GWEN è costituito da una rete di trasmettitori, operanti tra 160 e 190 kHz, allestiti negli Stati Uniti con lo scopo di disporre di un sistema di telecomunicazioni che possa funzionare anche in caso di attacco nucleare. L'idea di realizzare questo sistema è evidentemente nata negli anni della guerra fredda, ma ritengo che, attualmente, il sistema, anche se non ancora ultimato, venga completato non tanto o non solo in previsione di catastrofi nucleari che sembrano fortunatamente improbabili, ma in caso di catastrofi naturali come i terremoti e le inondazioni, o di catastrofi involontariamente causate dall'uomo come disastri di origine chimica, da inquinamento o di natura batteriologica.

Il sistema è stato sviluppato dall'U. S. Air Force in collaborazione con la Federal Emergency Management Administration.

Una volta completata la realizzazione del progetto, il numero totale di stazioni sarà di circa 300. Esse utilizzano ciascuna una propria frequenza compresa tra 160 e 190 kHz (ma ci sono stazioni GWEN anche tra 150 e 160 kHz) con potenza di 5 kW ed antenne verticali alte circa 100 m. Sia l'antenna che l'at-

tiguo edificio che ospita il trasmettitore sono stati progettati per resistere ad un attacco nucleare. Le comunicazioni sono in RTTY con codificazione stretta.

3.4 LOWFERS (Low Frequency Experimental Radio Station)

I LOWFERS sono radioamatori statunitensi che operano tra 160 e 190 kHz (nella cosiddetta banda dei 1750 m) senza l'obbligo di una licenza. Sono invece obbligati per legge ad usare un trasmettitore con il limite di 1 W nella potenza di alimentazione all'amplificatore finale, mentre la lunghezza dell'antenna non deve superare i 15 m, compresa la linea d'alimentazione. Molte di queste stazioni operano come radiofari trasmettendo in CW 24 ore su 24 una sigla scelta dal radioamatore stesso. Vengono inoltre usate anche la modulazione d'ampiezza e l'SSB per comunicazioni in fonia. Data la severa limitazione nella potenza di trasmissione i radioamatori americani LOWFERS usano spesso come riferimento la stazione campione WWVB a 60 kHz e generano la propria frequenza di trasmissione con un sintetizzatore sincronizzato sulla WWVB. Anche nel ricevitore viene effettuata una demodulazione sincrona utilizzando ancora come riferimento la stessa WWVB ed in questo modo le trasmissioni, denominate CCW (Coherent Continuous Wave) vengono estratte dal rumore di fondo, anche laddove un normale ricevitore rivelerebbe solo rumore. Il tema della trasmissione e della ricezione sincrona con una stazione campione meriterebbe di essere ulteriormente approfondito in altra sede in quanto rappresenta, potenzialmente, un mezzo per estrarre segnali molto deboli dal rumore o per separare stazioni interferenti.

Non si sa quanti siano i LOWFERS negli Stati Uniti. Essi sono principalmente concentrati nelle regioni altamente industrializzate del Nord Est ed in California. La copertura di una stazione LOWFERS normalmente va da 45 a 140 km, ma esistono rapporti di ricezione da oltre 900 km. L'attività dei LOWFERS è coordinata dal Long Wave Club of America che pubblica il bollettino mensile *The Lowdown*. Esso riporta sia le ricezioni dei LOWFERS sia, in generale, notizie e dati sull'attività DX in OL.

Recentemente anche in Canada è divenuto possibile operare una stazione amatoriale in onde lunghe con limitazioni simili a quelle esistenti negli Stati Uniti.

3.5 Sistemi di radionavigazione

In onde lunghe operano alcuni sistemi di radionavigazione con copertura globale, come il sistema Omega o l'analogo sistema russo denominato Alfa, e sistemi a copertura limitata come il Loran-C ed il Decca. Non mi soffermerò sui sistemi a copertura globale che sono stati descritti in un articolo apparso su *Radiorama* 12/90. Riporto solamente le frequenze comuni alle 8 stazioni del sistema Omega che sono: 10,2; 11,05; 11,33; 13,6 kHz; mentre per il sistema russo sono 11,905; 12,649; 14,881 kHz e rimando al citato numero di *Radiorama* per i dettagli sulla struttura dei segnali e sulle caratteristiche dei trasmettitori.

Il sistema Loran-C, operante tra 90 e 110 kHz, è anch'esso un sistema di radionavigazione iperbolica, ma opera a livello locale: una rete copre il Mediterraneo, mentre altre coprono il Mare del Nord, il Nord Atlantico, il mare del Giappone ed il mare dell'Indocina. Esiste anche un Loran russo con stazioni nella Russia Occidentale e nella regione di Vladivostok; il sistema russo è simile a quello occidentale e compatibile con esso.

Gli impulsi Loran-C hanno tempi di salita dell'ordine di 50 microsecondi e durata di circa 200 microsecondi ed, all'ascolto, il segnale è simile a quello del rumore prodotto quando si frigge del pesce in olio.

Il sistema Decca, nato in Gran Bretagna nel 1937 ed utilizzato durante la II^a guerra mondiale per lo sbarco in Normandia, si basa su una stazione principale e tre asservite ad essa che emettono impulsi di onde continue della durata di 0,45 s, intervallati di 2,5 s, nei seguenti intervalli di frequenza: 70-71,6; 84-86; 112-114; 114-117; 126-129 kHz. Attualmente il sistema Decca è utilizzato nel Canale della Manica e nel Mare del Nord, mentre, in passato era diffuso in tutto l'ex Impero Britannico.

3.6 Radiofari

Un altro ausilio per la navigazione sia marittima che aerea è rappresentato dai radiofari. Essi sono dei veri e propri fari che emettono radioonde invece di onde luminose. Nella Regione 1 i radiofari marittimi dovrebbero operare tra 283,5 e 325 kHz, mentre quelli aeronautici tra 315 e 495 kHz.

Le potenze dei radiofari vanno da 10 a 100 W; negli Stati Uniti è fissata a 25 W, ma ci sono alcuni radiofari, ad esempio in Canada, della potenza di 1 o 2 kW.

Il raggio di copertura dei radiofari è volutamente limitato a poche decine di chilometri in quanto essi servono per la navigazione costiera (radiofari marittimi) o per guidare gli aerei lungo un'aerovia o verso un aeroporto (radiofari aeronautici). Tuttavia, specialmente di notte e d'inverno, c'è la possibilità di ricevere i radiofari ad oltre mille chilometri di distanza. L'emissione dei radiofari è costituita da una, due o, più comunemente, tre lettere che costituiscono il nominativo di identificazione del radiofaro (raramente nel nominativo sono inclusi numeri) trasmesso in codice Morse così lentamente che anche chi non conosce la telegrafia può trascrivere a mano linee e punti del segnale ed identificare il radiofaro.

Su *Radiorama*, nella rubrica Fuori Banda, diversi collaboratori presentano i loro interessanti ascolti di radiofari, talvolta anche molto lontani. Analogamente, su *The Lowdown* si trovano ascolti di radiofari nordamericani. Elenchi di nominativi e di frequenze di radiofari si trovano in diversi libri dedicati al radioascolto ed in pubblicazioni specifiche (v. Bibliografia).

3.7 Stazioni radiotelegrafiche

Le onde lunghe sono state, fin dall'inizio della radiotelegrafia, il regno delle comunicazioni radiotelegrafiche. Il motivo è legato sia alla storia delle origini della radio, sia a questioni strettamente tecniche in quanto, a frequenze così basse, la larghezza di banda assegnata a ciascuna stazione è dell'ordine delle decine di Hz ed in bande così strette solo la telegrafia può operare.

La Fig. 2 mostra un tipico spettro dei segnali elettromagnetici tra 10 e 20 kHz ottenuto con un analizzatore di spettro. Si notano, oltre ad alcune stazioni del sistema Omega (ND = North Dakota; N = Norvegia; H = Hawaii), ed a quelle del sistema di radionavigazione russo (URSS), anche altri intensi segnali, la maggior parte dei quali è stato identificato. E' da notare innanzitutto che i segnali sono generalmente molto intensi (la maggior parte è intorno a 100 microvolt al metro), ma è anche da notare l'alto livello del rumore di fondo a queste frequenze (dell'ordine di 10 microvolt al metro).

Tra le stazioni radiotelegrafiche spicca la NAA della marina statunitense, situata a Cutler nel Maine, che ha lo scopo di te-

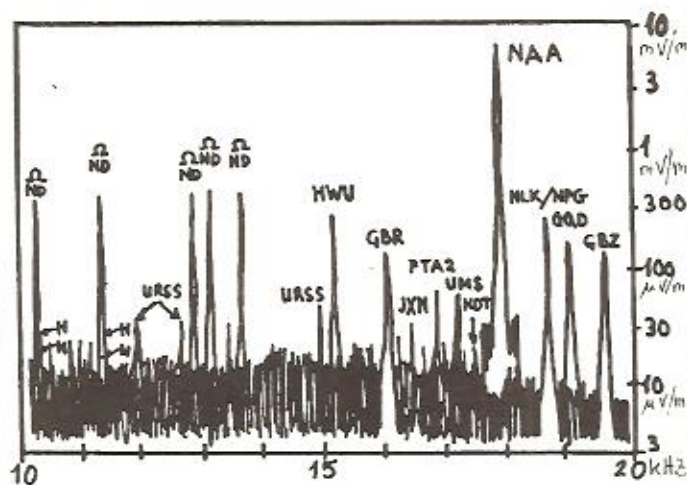


Fig. 2- Spettro dei segnali elettromagnetici tra 10 e 20 kHz.

nere i collegamenti tra gli alti comandi militari americani e navi, aerei e sottomarini dislocati nell'emisfero Nord. Attualmente la NAA opera a 24,0 kHz con una potenza di 2 MW ed utilizza una doppia antenna costituita da due ragnatele di conduttori. Ciascuna è sostenuta da 13 piloni: quello centrale, alto circa 300 m, è circondato da due serie di sei piloni ciascuna. Tra questi piloni è teso un sistema di cavi di bronzo fosforoso della lunghezza complessiva di 120 km, mentre 3960 km di conduttori di rame, del diametro di 2,5 cm, costituiscono il sistema di terra. Ciascuna delle due antenne può essere utilizzata da sola, mentre l'altra è sottoposta a manutenzione. Per dare un'idea delle dimensioni dell'impianto basti pensare che, per riscaldare i fili delle antenne e sciogliere il ghiaccio che si forma su di essi, viene impiegata una potenza elettrica di 9 MW.

Un'altra stazione, gemella della NAA, e cioè la NLK, che opera attualmente a 24,8 kHz ed è situata a Jim Creek, Washington, mantiene i collegamenti con le unità statunitensi nell'emisfero Sud.

La frequenza principale per le comunicazioni ai sottomarini sovietici è 17,1 kHz, condivisa dalla Marina e dal Ministero delle Comunicazioni. Su questa frequenza operano RJS da Vladivostok per la flotta del Pacifico e del Mar del Giappone, UFD da Arkangelsk (Mar Bianco e di Barents), RIW da Khiva, ROD9 e UDK da Severomorsk (Oceano Artico), URD da S. Pietroburgo (Baltico) ed UMS da Mosca che ha il compito di tenere i collegamenti con i sottomarini della classe SSN ed SSBN.

La flotta dei sottomarini inglesi riceve ordini dalla stazione GBZ di Oxford su 19,6 kHz, mentre quella francese da FOU su 15,1 e da un'altra stazione su 16,8 kHz, entrambe di Bordeaux.

Nel Nord Italia è possibile ricevere diverse stazioni radiotelegrafiche quali la russa UMS a 17,1 kHz in RTTY e la stazione DHO 38 su 23,4 kHz, facilmente identificabile dal messaggio CW: VVV VVV VVV DE DHO 38... Si tratta di un'emittente della NATO con sede nella Germania Occidentale, che trasmette usualmente in RTTY.

Le stazioni radiotelegrafiche da punti fissi occupano le frequenze da 14 a 19,95 kHz e da 20,05 a 190 kHz.

3.8 La frequenza internazionale di soccorso (500 kHz)

Un discorso a parte merita la frequenza di 500 kHz che è internazionalmente assegnata come frequenza di soccorso sia per le navi che per gli aerei. Su questa frequenza si possono trovare non solo comunicazioni relative a casi di emergenza, ma anche brevi messaggi tra navi e stazioni costiere per concordare

appuntamenti su altre frequenze allo scopo di scambiare messaggi urgenti. Le comunicazioni su 500 kHz avvengono esclusivamente in telegrafia.

3.9 Il progetto Sanguine/Seafarer

Anche su questo interessante argomento, già trattato su *Radiorama* (v. i numeri 10/89 e 5/90), non intendo dilungarmi. Ricordo solamente che il progetto prevede la costruzione di un gigantesco sistema di trasmissione in banda ELF (precisamente a 76 Hz), della potenza di 1,6 MW con lo scopo di mantenere i collegamenti, in modo unidirezionale cioè solo dalla base ai sottomarini, con i mezzi in immersione dislocati in ogni parte del mondo. Alla frequenza di 76 Hz la profondità di pelle nell'acqua salata è di circa 30 m e la ricezione risulta possibile fino a circa 100 m di profondità. In banda ELF l'attenuazione nella propagazione è solo di 1 o 2 dB ogni 1000 km e quindi un solo potentissimo trasmettitore è in grado di coprire tutto il globo.

Rispetto a quanto scrissi su *Radiorama* l'unica novità è che il sistema è ancora in costruzione e non è stato abbandonato, nonostante le battaglie degli ambientalisti e gli atti, definiti di vandalismo, messi a segno dagli oppositori del progetto. Si è inoltre saputo che l'appalto per la costruzione di due siti trasmettenti (uno nella Escanaba River State Forest nella penisola superiore del lago Michigan e l'altro a Clam Lake nel Wisconsin) è stato affidato alla General Telephone Electronics per un costo di 240 milioni di dollari.

Il sospetto che un analogo progetto venisse portato avanti anche in Russia ha trovato conferma nell'ottobre '91 quando la rivista *Monitorig Times* ha annunciato che, malgrado le difficoltà che travagliano il paese, sta per essere completato, nella penisola di Kola, un impianto di comunicazione in banda ELF con i sottomarini della classe SSBN in navigazione sotto la calotta polare artica.

3.10 Stazioni FAX e meteo

La possibilità di trasmettere via radio immagini statiche è sfruttata da decenni per inviare a distanza fotografie, mappe, disegni, eccetera. Le emittenti attualmente attive in onde lunghe si possono suddividere in due categorie: nella prima si trovano quelle che trasmettono essenzialmente fotografie di attualità e notizie per la stampa come la SLZ1 su 125,2 kHz la DCF45 che trasmette da Francoforte su 129,1 kHz per la Vereinigte Wirtschaftsdienste, la DCF39 da Francoforte per la Deutsche Presse Agentur su 139 kHz e la DCF60 su 140,3 kHz pure da Francoforte; nella seconda categoria ci sono le stazioni che trasmettono mappe meteorologiche come la DCF37 Offenbach Meteo su 117,4 kHz, la DCF49 su 129,1 kHz Mainflingen Meteo, la RCG su 144,50 kHz Mosca Meteo, la DDH47 su 147,3 kHz da Pinnenberg della Deutscher Wetterdienst.

La ricezione delle immagini via radio richiede l'uso di un apposito decodificatore e di un elaboratore programmato per presentare sul video e/o per stampare l'immagine.

4. RADIO NATURA

4.1 Rumori di origine naturale

A chi frequenta le onde lunghe non possono essere sfuggiti certi strani rumori: fischi (whistles), sibili, soffi, scoppi, fruscii,

cinguetii che si ricevono sporadicamente, principalmente tra 3 e 15 kHz.

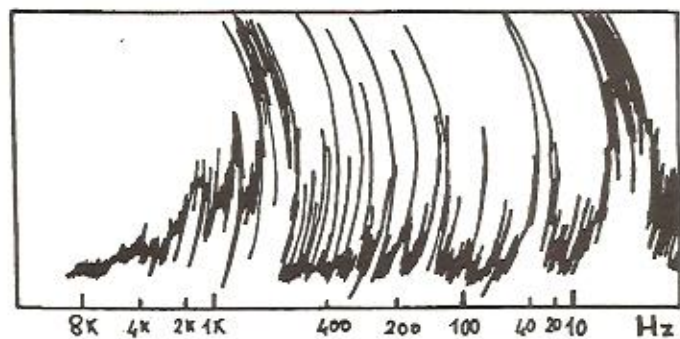


Fig. 3 - Spettro del rumore radio tra 10 Hz ed 8 kHz, ottenuto negli Stati Uniti con un analizzatore di spettro a scansione lenta. Si possono osservare la frequenza di rete a 60 Hz e le sue armoniche, oltre ad altri segnali di origine naturale. Particolarmente intenso lo spettro intorno a 750 Hz, dovuto a scariche elettriche naturali.

E' stato dimostrato che i whistles sono associati al verificarsi di scariche elettriche atmosferiche; anche a scariche che si sono prodotte molto lontano in quanto è accertato che, alle basse frequenze, l'attenuazione nella propagazione è piccola ed i segnali viaggiano al di fuori della ionosfera, lungo un tubo di flusso magnetico da un emisfero all'altro. Il massimo di intensità nei segnali prodotti da fulmini e scariche elettriche naturali sembra trovarsi attorno a 5 kHz. Poiché la velocità di propagazione alle basse frequenze dipende dalla frequenza, ed in particolare è maggiore alle frequenze più basse e minore a quelle più alte, il suono percepito da un osservatore contiene dapprima le frequenze basse che arrivano prima e poi sale di tono man mano che arrivano le frequenze più alte. Inoltre lo spazio tra terra e ionosfera costituisce come una guida d'onda che presenta delle risonanze (dette di Shuman, dal nome del loro scopritore) a 7 Hz ed alle frequenze armoniche: 14, 21, 28 Hz. Per questo motivo i segnali elettromagnetici ad ampio spettro, come quelli delle scariche naturali, vedono le loro componenti alle suddette frequenze viaggiare, quasi senza attenuazione, attorno al globo.

Negli Stati Uniti, sotto l'egida del Long Wave Club of America, molti radioappassionati si dedicano alla caccia di whistles e di altri segnali naturali in zone isolate e lontane da radiodisturbi di origine civile ed industriale, con sistemi radioriceventi portatili.

4.2 Brillamenti solari

I brillamenti solari, che hanno così grande influenza sul comportamento della ionosfera e quindi, in generale, sulla propagazione delle onde radio, influenzano anche, in modo marcato, le trasmissioni al di sotto di 30 kHz. I brillamenti solari, infatti, influenzano profondamente lo strato più basso della ionosfera, lo strato D. In corrispondenza ai brillamenti solari, che si possono osservare otticamente con un telescopio, si ha un aumento della ionizzazione dello strato D e, di conseguenza, vengono registrati anche improvvisi aumenti, denominati SES (Sudden Enhancement of Signal), del segnale ricevuto da lontane stazioni operanti su queste frequenze.

Anche la rivelazione indiretta di brillamenti solari, effettuata con la registrazione continua dell'intensità del segnale di una stazione radio che opera senza interruzioni, è oggetto, negli Stati Uniti, di un'attività sistematica, che è molto di più di un sem-

plice hobby e che si avvicina decisamente alla ricerca scientifica, da parte di radioappassionati che fanno capo alla rivista *Experimenter's Newsletter*.

4.3 Monitoraggio dell'attività tellurica e previsione dei terremoti

Un discorso particolare, e da prendersi con la dovuta prudenza, è quello relativo ai segnali elettromagnetici che si osserverebbero alcune ore prima dello scatenarsi di grandi terremoti. Le frequenze alle quali sarebbero stati osservati questi segnali sono molte: da 10 a 1500 Hz; a 81 kHz; a 7, 9, 14 MHz ed anche in banda VHF. Cito questi dati per dovere di informazione, ma la spiegazione del perché proprio queste frequenze e non altre non è nota e si può supporre che risieda nella sporadicità delle osservazioni che sono spesso state eseguite casualmente durante ricezioni effettuate per altri motivi.

In un lavoro pubblicato nel 1982 sul *Journal of Geophysical Research* tre scienziati americani di Boulder, sulla base dell'analisi delle strane emissioni radio captate simultaneamente a 18 MHz da quattro radiotelescopi il 16 maggio 1960, formulano l'ipotesi che queste emissioni siano da porre in relazione con il grande sisma del Cile verificatosi il 22 maggio successivo. I radiotelescopi erano quelli di Lake Angelus (Michigan), Boulder (Colorado), Sacramento Peak (New Mexico) e Makapuu Point (Hawaii) e stavano registrando il rumore radio a 18 MHz con una larghezza di banda di 100 kHz ed un sistema di controllo elettronico per eliminare i segnali radio impulsivi dovuti alle radiocomunicazioni. @INDIRIZZO = Bisogna aggiungere che alcuni geofisici (in Grecia Varotsos, Alexopoulos e Nomicos dell'Università di Atene) hanno formulato una teoria, e dicono di averla verificata sperimentalmente, secondo la quale le rocce, in stato di compressione anomala in prossimità delle faglie e prima del cedimento che dà luogo ai terremoti, emettono segnali elettromagnetici. Secondo questa teoria, pubblicata nel 1984 sulla rivista *Tectonophysics*, ogni terremoto di una certa rilevanza è preceduto da segnali elettrosismici. Questi segnali permetterebbero di predire con precisione magnitudo ed epicentro dell'imminente sisma. Nel 1986 il noto geofisico francese Haroun Tazieff ha ottenuto che il governo francese stanziasse quattro milioni di franchi per installare una rete di rilevazione di potenziali elettrici nel sud della Francia. La rivelazione di questi segnali viene effettuata con elettrodi infissi nel terreno a distanza, tra loro, di qualche centinaia di metri. I segnali elettrici così captati vengono amplificati con amplificatori audio a banda regolabile e l'intensità dei segnali viene registrata in modo continuo ad esempio con registratori a carta. Secondo alcune stime solamente sismi di magnitudo uguale o superiore a 5 darebbero origine a segnali elettromagnetici rivelabili.

Un'altra interpretazione di questi fenomeni premonitori dei terremoti è quella secondo la quale, in prossimità delle faglie, il campo magnetico terrestre verrebbe improvvisamente alterato nella sua intensità e/o direzione prima dello scatenarsi di un terremoto. L'anomalia del campo magnetico terrestre si ripercuoterebbe sulla ionosfera dando luogo alle SID (Sudden Ionospheric Disturbances) che alterano la densità di ionizzazione nella ionosfera e che, a loro volta, danno origine a disturbi nella propagazione delle radioonde.

Dal 1975, in Cina, sono in atto esperimenti sulle correnti di terra tra due elettrodi (uno di carbone ed uno di piombo) sotterrati a profondità da uno a due metri, ad una distanza di 20 m tra loro, semplicemente collegati ad un microamperometro che misura la cosiddetta "corrente di terra" che circola tra i due elettrodi. Come riferì nel 1983 la rivista statunitense *Monitoring*

Times, l'analisi delle variazioni di tali correnti sembra promettente in vista della predizione di terremoti imminenti.

5. ALTRE SORGENTI ED APPLICAZIONI DI SEGNALI ELETTROMAGNETICI IN VLF

Altre sorgenti di segnali elettromagnetici, direttamente od indirettamente connessi con attività dell'uomo, sono le seguenti.

5.1 Comunicazioni via terra ed attraverso la terra

Le comunicazioni via terra possono essere realizzate con correnti iniettate nel terreno per mezzo di elettrodi o generate con metodo induttivo. Le prime risalgono al 1899 con gli esperimenti di Nikola Tesla e furono ampiamente utilizzate dagli eserciti inglese e francese durante la I^a guerra mondiale per mantenere il collegamento tra le retrovie ed i soldati nelle trincee avanzate, quando non era possibile stendere linee telefoniche o quelle esistenti erano state interrotte dai bombardamenti. Le comunicazioni avvenivano usualmente in telegrafia, ma non è esclusa la possibilità di realizzare comunicazioni in fonìa a breve distanza, cioè a distanza di pochi chilometri. Uno dei primi impieghi dell'elettronica nello spionaggio fu proprio quello dell'uso, da parte dell'esercito austro-ungarico, di triodi per amplificare e rivelare i deboli segnali elettrici nemici, captati tra due prese di terra. Fu durante quest'attività che vennero scoperti, senza dapprima comprenderne l'origine, i segnali di origine naturale brevemente descritti nel paragrafo 4.1.

Nell'esplorazione delle caverne viene impiegato un sistema di radiolocalizzazione costituito da un trasmettitore portatile in dotazione agli esploratori del sottosuolo e da una stazione ricevente mobile dislocata in superficie. Il trasmettitore opera come un radiofaro a 1200 Hz ed è munito di una grande antenna a telaio, il ricevitore in superficie è sintonizzato sulla stessa frequenza ed, attraverso un sistema di rilevamento direzionale effettuato da diversi punti sempre con antenne a telaio, è in grado di determinare posizione e profondità del trasmettitore. In caso di necessità è possibile anche comunicare in CW, tra sottosuolo e superficie, in ricetrasmisione con la stessa apparecchiatura. Il sistema può operare fino a profondità di circa 400 m.

5.2 Comunicazioni in banda ELF

Sempre alle basse frequenze (76 Hz) potrebbero essere presenti i segnali in banda ELF del progetto Sanguine/Seafarer citato nel paragrafo 3.8. Questi segnali si potrebbero ricevere con un'antenna costituita da due elettrodi infilati nel terreno, alla distanza di qualche decina di metri, ed amplificati con un amplificatore a banda stretta.

5.3 Segnali a frequenza di rete

Le linee elettriche a 16 e 2/3 Hz di alcune ferrovie (Norvegia), quelle a 50 Hz in Europa e quelle a 60 Hz in America e in Giappone costituiscono forti sorgenti di segnali in banda ELF. Questi segnali possono essere facilmente captati, in prossimità delle linee, sia con due elettrodi infissi nel terreno che permettono di rivelare la differenza di potenziale dovuta a correnti iniettate o indotte nel terreno stesso, sia con altri tipi di an-

tenna come quelle a telaio sensibili, invece, al campo magnetico generato dalle linee elettriche.

Alcuni radioamatori norvegesi hanno captato, con l'uso di una grande antenna a telaio, segnali a 60 Hz che non potevano che provenire dall'America o dal Giappone.

La presenza nei sistemi elettrici mono e trifasi di elementi di circuito dalle caratteristiche elettriche non lineari, come i sistemi di rettificazione della corrente alternata e gli avvolgimenti su nuclei di ferro in regime di saturazione presenti nei motori elettrici, comportano la generazione di armoniche delle frequenze di rete che vengono immesse nelle reti elettriche e nei ritorni via terra. A causa della simmetria di alcuni circuiti nei quali sono presenti elementi non lineari, le armoniche pari si cancellano e risultano quindi relativamente meno intense di quelle dispari. Uno spettro dei segnali dovuti alla rete conterà quindi, oltre alla frequenza di rete, una relativamente debole seconda armonica, una forte terza armonica e diverse armoniche superiori di intensità generalmente decrescente. Con opportune strumentazioni sono stati osservati segnali fino alla ventesima armonica della frequenza di rete. In figura 4 è mostrato un tipico spettro dell'intensità dei segnali dovuti alla rete. Esso è stato ottenuto a Pavia utilizzando un filtro audio sintonizzabile, a banda stretta (10 Hz), con un'attenuazione di 48 dB per ottava, seguito da un millivoltmetro per tensioni alternate. I segnali sono stati prelevati tra due prese di terra distanti tra loro un centinaio di metri e non sono stati amplificati. Nella figura sono anche indicate le armoniche più intense e lo schema a blocchi del sistema di misura.

5.4 Segnali ad onda convogliata lungo le linee elettriche, telefoniche e simili

E' ben noto che la SIP è in grado di inviare sulle linee telefoniche urbane il servizio di filodiffusione agli utenti che lo desiderano. Questo servizio utilizza le frequenze tra 150 e 350 kHz.

Chiunque può utilizzare sistemi ad onde convogliate nella propria abitazione. Queste onde si propagano lungo i fili che costituiscono l'impianto elettrico domestico, ma possono anche giungere a qualche centinaio di metri dall'abitazione, lungo le

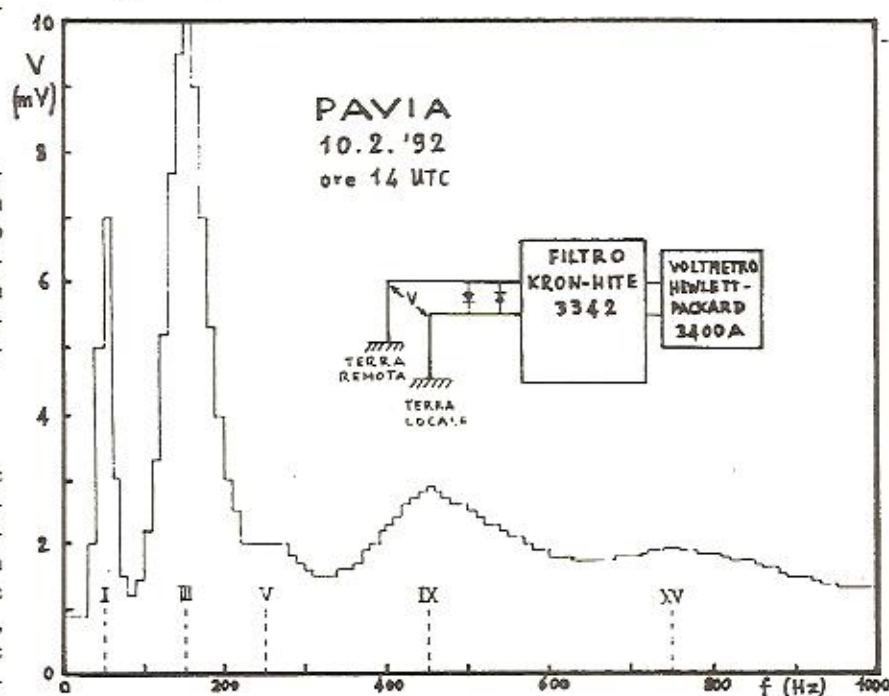


Fig. 4 - Spettro dei segnali dovuti alla rete.

linee elettriche pubbliche. Le frequenze utilizzate per queste applicazioni si trovano tra 70 e 200 kHz.

L'ENEL utilizza una propria rete di comunicazione in codice tra le centrali e le stazioni di trasformazione inviando onde convogliate lungo le linee ad alta tensione. Non è difficile captare, in prossimità dei grandi elettrodotti, questi segnali (che cadono nella banda delle onde lunghe) con normali ricevitori portatili dotati di tale banda e di un'antenna in ferrite che va disposta perpendicolarmente alla direzione dei conduttori. Tra le frequenze utilizzate per queste trasmissioni di tipo digitale vi sono le seguenti: 200 kHz, 240 kHz e 260 kHz.

5.5 Scie di missili

Le scie dei missili in fase di lancio contengono particelle ionizzate in moto accelerato le quali irraggiano onde elettromagnetiche a bassa frequenza. Negli Stati Uniti un hobby praticato da chi risiede in prossimità delle basi di lancio per voli spaziali è quello di rivelare questi lanci attraverso i segnali elettromagnetici da essi generati.

5.6 Esplosioni nucleari

Le esplosioni nucleari nell'atmosfera, fortunatamente ora soppresse, danno origine a segnali elettromagnetici a bassa frequenza rivelabili a distanza. Il controllo di questi segnali, unitamente al più noto metodo basato sulla rilevazione di onde sismiche, ha costituito uno dei metodi di rivelazione di queste esplosioni.

5.7 Esperimenti sulla propagazione attraverso la ionosfera

Una missione Shuttle della NASA ha messo in orbita, nella primavera '92, il satellite ATLAS-1 (Atmospheric Laboratory for Applications and Science) con il compito di effettuare esperimenti nell'ambito del progetto SEPAC (Space Experiments with Particle Accelerators). Il programma ha previsto l'emissione, nello spazio al di fuori della ionosfera, di un fascio di elettroni modulato a 7 kHz e a diverse altre frequenze più basse. Il fascio di elettroni costituisce un'antenna trasmittente virtuale in grado di generare onde elettromagnetiche in banda VLF. Lo scopo dell'esperimento è stato quello di studiare, da terra, l'eventuale penetrazione attraverso la ionosfera delle onde lunghissime. Questa propagazione, proibita per motivi fisici in un plasma, è invece possibile, sotto certe condizioni, attraverso la ionosfera che è un magnetoplasma; cioè un plasma dalle caratteristiche anisotrope dovute alla presenza del campo magnetico terrestre. Come avviene in ottica per i cristalli anisotropi, così nella ionosfera dovrebbe potersi propagare un'onda straordinaria che potrebbe permettere le telecomunicazioni terra-satellite anche a bassissime frequenze, oltre che a microonde come avviene oggi.

Il controllo da terra delle emissioni VLF è stato effettuato nell'ambito di un programma coordinato tra scuole superiori e radioamatori statunitensi, con la collaborazione anche di radioamatori sparsi in tutto il mondo. Al programma, denominato IN-SPIRE (INteractive Space Physics Ionospheric Radio Experiments), hanno entusiasticamente collaborato diversi radioamatori italiani.

5.8 Studi geofisici

Altre applicazioni delle basse frequenze riguardano gli studi geofisici del suolo effettuati sia con correnti ad audiofrequen-

za immerse nel terreno con appositi elettrodi, sia con correnti indotte, per lo studio delle proprietà elettriche e magnetiche delle rocce e dei sedimenti.

Un metodo di studio sviluppato negli ultimi anni e che presenta molti vantaggi rispetto ai due precedenti consiste nell'analisi dei segnali ricevuti da stazioni VLF nell'intervallo da 15 a 30 kHz. La ditta svedese Wadi produce un ricevitore portatile che si sintonizza automaticamente sulla stazione meglio ricevibile nella zona da esplorare, ne analizza l'intensità e la fase ed, attraverso un microprocessore, calcola la profondità e l'estensione della zona conduttrice che si trova eventualmente nel sottosuolo, sotto i piedi di chi effettua l'esplorazione. Il principio fisico sul quale si basa questo metodo riguarda la propagazione delle radioonde nei mezzi conduttori e richiede una descrizione matematica molto complessa. Dal punto di vista fisico si può facilmente comprendere che, in prossimità di una massa conduttrice nel sottosuolo (acqua o minerali metalliferi), si ha un indebolimento locale dei segnali elettromagnetici in superficie che può essere misurato e dal quale si può risalire alle caratteristiche fisiche del giacimento. Una descrizione più dettagliata del metodo sarà riportata in *Radorama* 6/92.

5.9 Onde cerebrali

Il cervello umano genera segnali elettrici nell'intervallo da 1 a 22 Hz. Alcune frequenze, in questo intervallo, sono associate a specifiche funzioni ed a stati del cervello come il sonno, il pensiero, il riposo ed agli stimoli visivi, uditivi ed esterni in generale. Questi segnali possono essere captati e registrati, come è ben noto, con apposite apparecchiature mediche quali l'elettroencefalografo. La loro esistenza, oltre che costituire un mezzo di diagnosi delle funzioni cerebrali, fa pensare alla possibilità di aiutare il cervello, nelle sue funzioni, con segnali di frequenza ed intensità appropriate e per curare malattie cerebrali. D'altra parte sorge anche l'inquietante interrogativo se sia possibile controllare e condizionare il cervello con campi elettromagnetici esterni e ci si può chiedere, inoltre, quale sia l'effetto sul cervello dei campi in banda ELF la cui utilizzazione è stata proposta e sperimentata per sistemi di telecomunicazione militare di carattere globale.

5.10 Tomografia d'impedenza

La tomografia d'impedenza è un mezzo non invasivo di diagnosi e di studio dello stato degli organi interni del corpo umano che risulta complementare alle ben note tecniche basate sui raggi X e sulla risonanza magnetica nucleare. Il principio sul quale si basa è l'applicazione, attraverso un sistema di elettrodi, di campi elettrici a bassa frequenza - da 1 a 10 kHz - e l'analisi delle correnti che fluiscono dagli elettrodi. Con l'uso di un elaboratore e degli opportuni algoritmi di ricostruzione è possibile ottenere l'immagine elettrica di sezioni dell'interno di un arto, del tronco o del capo, distinguere i diversi tessuti e conoscere alcuni aspetti del loro stato fisiologico. Tra le applicazioni cliniche si può citare la misura dei parametri cardiaci (portata, capacità, tempo di svuotamento), dell'emodinamica cerebrale e di quella vascolare negli arti, il controllo della perfusione sanguigna polmonare, della ventilazione polmonare e della respirazione, specialmente nei nati prematuri. Si può inoltre controllare lo stato di riempimento dello stomaco e della vescica, analizzare i tessuti del seno, controllare la distribuzione della temperatura nelle cure basate sull'ipertermia locale e seguire la ricostruzione ossea in corrispondenza delle fratture.

6. COME RICEVERE LE VLF

6.1 Ricevitori commerciali

Esaminiamo dapprima le caratteristiche dei ricevitori commerciali solamente sotto il profilo della copertura delle bande al di sotto di 500 kHz in quanto questa è una caratteristica essenziale.

I ricevitori commerciali, compresi quelli a copertura continua, generalmente non sono progettati per ricevere frequenze molto basse. I normali ricevitori, sprovvisti di un apposito convertitore, come il Sony ICF 2010, o altri della stessa casa costruttrice, arrivano solo fino a 150 kHz, il JRC 525 si spinge a 90 kHz, mentre il Kenwood R-5000 riceve fino a 30 kHz ed il Bearcat DX-1000 arriva a 10 kHz.

Altri ricevitori prevedono l'aggiunta di un apposito convertitore come lo Yaesu FRG 9600 e, con questo accessorio, arrivano a 20 kHz; il ricevitore E.G.Z. DX 10, dotato di un convertitore incorporato, arriva virtualmente a frequenza zero. Bisogna però tener presente che, a causa della larghezza di banda degli amplificatori a frequenza intermedia, non è possibile praticamente scendere al di sotto della frequenza corrispondente alla larghezza di banda stessa. Cioè, se la larghezza di banda è, diciamo, 1 kHz, è possibile ricevere fino ad 1 kHz. Per tutti i ricevitori, escluso il DX 10, volendo scendere sotto il loro limite inferiore, bisogna ricorrere ad un convertitore.

6.2 Convertitori per VLF

I convertitori hanno la funzione di mescolare i segnali provenienti dall'antenna, ad una qualsiasi frequenza f , con un segnale generato da un oscillatore locale, generalmente controllato a quarzo, a frequenza F in modo da ottenere, con il metodo eterodina, segnali a frequenza $F + f$ ed $F - f$. Occorre inoltre che questi segnali cadano in una banda di frequenze ricevibili da parte del ricevitore che segue. Di solito F viene scelta tra 3 e 4 MHz o pari a 28 MHz in modo da ottenere segnali in una porzione di spettro non affollata. Il ricevitore viene, per comodità, sintonizzato sul segnale a frequenza $F + f$ in modo da leggere direttamente la frequenza in kHz, omettendo di leggere le prime cifre del frequenzimetro (2 e 8 nel caso di conversione a 28 MHz).

Diverse ditte costruiscono convertitori per VLF: le statunitensi Datong e Palomar Engineers, la E.R.E. (LFC 1000) e la già citata Yaesu (FC 965 DX). La E.G.Z. produce il convertitore DX 1C che può essere abbinato a qualsiasi ricevitore e Nuova Elettronica ha in catalogo il kit LX 885 per chi ama l'autocostituzione (per gli indirizzi delle ditte v. 7.2). Tutti questi

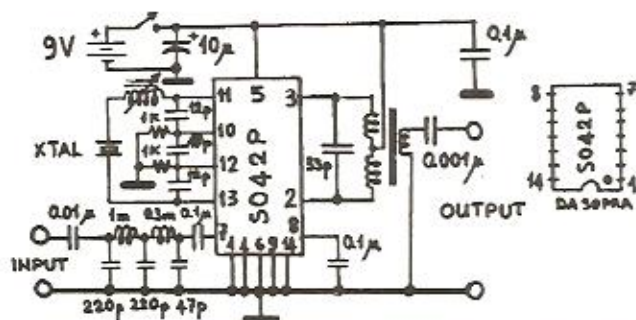


Fig.5 - Schema elettrico di un semplice convertitore per la ricezione delle VLF.

convertitori mettono in grado il ricevitore di scendere virtualmente fino a zero, ma in pratica vale sempre l'osservazione fatta in proposito precedentemente.

Nella Fig. 5 è riportato lo schema di un convertitore di facile costruzione. Il cristallo è nominalmente da 28 MHz, ma in realtà oscilla ad una frequenza leggermente superiore; l'impedenza regolabile serve appunto per portare esattamente a 28 MHz questa frequenza. Il valore dell'impedenza è di circa 50 microhenry. Il trasformatore d'uscita è avvolto su nucleo toroidale con 11 + 11 spire al primario e 5 spire al secondario. L'ingresso può convenientemente essere collegato ad un'antenna a telaio, mentre l'uscita va collegata alla presa d'antenna del ricevitore escludendo altre antenne.

6.3 Ricezione senza conversione di frequenza

Per la ricezione dei segnali a frequenze da circa 16 kHz in giù, e in particolare per ricevere i segnali di Radio Natura, è possibile utilizzare un particolare tipo di ricevitore, senza sistemi di conversione o di rivelazione. Esso è basato sul fatto che queste frequenze cadono nell'intervallo delle frequenze audio e si tratta solo di convertire l'onda elettromagnetica in segnale elettrico (ed a questo provvede l'antenna) di amplificarlo e di ascoltare direttamente in cuffia od in altoparlante.

Il ricevitore in questione è costituito da un amplificatore audio, con una larghezza di banda regolabile o fissa e determinata in modo da poter ricevere i segnali nell'intervallo di frequenza che interessa. In questo tipo di ricevitori non è possibile, e non serve, una sintonia nel senso stretto del termine, ma si può aggiustare la frequenza inferiore di taglio in modo da escludere, per esempio, le armoniche di rete se sono forti e non sono oggetto di misura e aggiustare la frequenza superiore di taglio in modo da escludere, ad esempio, le stazioni radiotelegrafiche presenti da circa 15 kHz in su. E' utile invece poter ricevere, insieme a Radio Natura, almeno una stazione del sistema Omega, da 10 a 14 kHz, in modo da avere un riferimento temporale preciso fornito dai suoi segnali che sono spazati esattamente di 10 s. La più alta frequenza comunque ricevibile è quella che il singolo operatore riesce a percepire con il proprio orecchio. Essa è di circa 16 kHz nelle persone giovani e decresce con l'età. Il ricevitore che sto descrivendo è essenzialmente un amplificatore audio monocanale ad alta fedeltà. Il suo guadagno in tensione può essere compreso tra 100 e 1000, cioè tra 40 e 60 dB e va comunque commisurato all'intensità dei segnali presenti in antenna. In commercio si trova il Whistler Receiver WR-3 della Conversion Research utile per la ricezione dei segnali di origine naturale.

Lo schema di un ricevitore sviluppato da Mike Mideke, coordinatore del programma INSPIRE per la ricezione dei segnali di origine naturale, modificato dallo scrivente e collaudato in occasione delle trasmissioni del progetto SEPAC, è mostrato nella Fig 6. Esso consiste in uno stadio di ingresso adattatore di impedenza con guadagno regolabile tra uno e due per mezzo della resistenza variabile da 1 kohm seguito da un filtro a pigrca con funzione di passa-basso. Il filtro è seguito a sua volta da un transistor il cui punto di lavoro (e di conseguenza il guadagno) viene fissato dal potenziometro da 47 kohm. Lo stadio successivo è costituito da un filtro passa-alto, inserito nella posizione IN e disinserito nella posizione OUT, che sfrutta la prima metà di un circuito integrato. Il guadagno di questo stadio è fissato dalla resistenza variabile da 10 kohm. La seconda metà dell'integrato amplifica ulteriormente il segnale ed è in grado di pilotare sia un auricolare ad alta impedenza, sia l'ingresso di un registratore. Nella posizione IN il guadagno complessivo in tensione è di circa 2000, la larghezza di banda va da 1 kHz a 10 kHz, il consumo di corrente è di 11 mA a 9V. L'an-

tenna consigliabile per questo ricevitore è uno stilo verticale di circa un metro, posto a qualche metro d'altezza rispetto al suolo, con discesa schermata. La terra può essere realizzata sia con un picchetto infisso nel terreno, sia con un contrappeso.

elettrodi a condizione che il campo presenti una componente nella loro direzione di allineamento. Per soddisfare questa condizione occorre che il campo elettrico abbia una componente parallela al piano del terreno (e questo è sempre verificato in

VLF) e, per ottenere il massimo segnale, occorre che gli elettrodi siano allineati con la direzione di provenienza dell'onda. I due elettrodi costituiscono quindi due sonde che ci permettono di ottenere la piccola differenza di potenziale lasciata sul terreno dal passaggio delle onde elettromagnetiche. Qualsiasi filo conduttore isolato può servire per convogliare al ricevitore la differenza di potenziale esistente sul terreno. Se ci si vuole convincere che la captazione del segnale è effettivamente dovuta agli elettrodi e non ai fili di collegamento tra elettrodi e ricevitore basta sfilare dal terreno uno o tutti e due gli elettrodi e notare la quasi totale scomparsa del segnale. Una ulteriore prova di quanto sopra asserito si può ottenere con l'uso, anziché di semplici fili isolati, di un cavo coassiale nel quale l'elettrodo remoto venga collegato al conduttore centrale e la calza costituisca una schermatura collegata all'elettrodo prossimo al ricevitore. Per quanto riguarda le due prese di terra non è affatto necessario che esse siano realizzate, come per i dispersori di terra degli impianti elettrici domestici, con lunghe puntazze affondate nel terreno. E' sufficiente usare

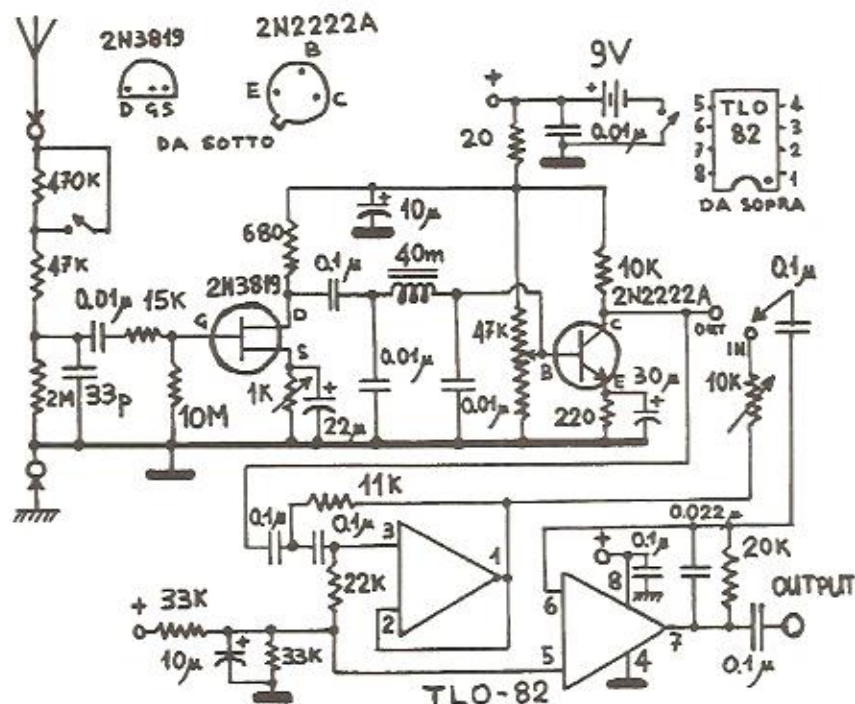


Fig. 6 - Schema elettrico di un ricevitore per segnali di origine naturale tra 1 e 10 kHz.

6.4 Antenne riceventi per VLF

In generale le antenne riceventi possono essere divise in due categorie: a) quelle che si accoppiano con il campo elettrico, b) quelle che si accoppiano con il campo magnetico dell'onda incidente. Denomineremo le prime "antenne elettriche", le seconde "antenne magnetiche".

Nelle VLF non si pone per le antenne elettriche, come invece a frequenze più alte, il problema di rendere tali antenne risonanti in quanto le dimensioni fisiche dell'antenna non possono essere paragonabili alla lunghezza d'onda (v. Tabella I) per motivi pratici. Di conseguenza l'efficienza di queste antenne è necessariamente limitata. Il tipo più semplice di antenna elettrica è ovviamente la filare. Essa è costituita da un conduttore rettilineo, isolato, disposto orizzontalmente, verticalmente o inclinato rispetto al suolo. Nel primo e nel terzo caso l'antenna ha una qualche direttività, mentre nel secondo caso è omnidirezionale. E' facile comprendere e verificare che l'intensità del segnale è direttamente legata alla lunghezza dell'antenna ed al fatto che essa sia lontana da altri conduttori come il terreno, la vegetazione, gli edifici e le masse metalliche in genere. Per la ricezione di segnali naturali viene preferita l'antenna elettrica verticale.

Un altro tipo di antenna elettrica, più volte citato in precedenza, è quello cosiddetto "a coppia di elettrodi". Questo tipo di antenna è costituito essenzialmente da due prese di terra poste ad una determinata distanza tra di loro, che indicheremo con l . Esse individuano una direzione nel piano orizzontale. Poiché il terreno è in generale conduttore, ma non è un conduttore perfetto (cioè presenta una resistività non nulla), avviene che il campo elettrico di un'onda che incide sul terreno induce una differenza di potenziale elettrico tra i punti ove sono posti gli

corti picchetti o chiodi da carpentiere che si possono facilmente togliere dopo l'uso. Per evitare l'ossidazione del materiale che viene infisso nel terreno si possono usare come elettrodi dei carboncini, della lunghezza di 5 cm, recuperati da vecchie pile da torcia ed appuntiti ad un'estremità, mentre all'altra estremità, ove c'è un cappellotto di ottone, viene saldato un filo di rame. La distanza tra le due prese di terra può variare da un minimo di una ventina di metri, sufficienti per ricevere i segnali Omega, fino a qualche centinaio di metri o più. E' comunque importante evitare di realizzare questo tipo di antenna in prossimità di condutture o strutture metalliche (tubazioni, linee elettriche, guard railles, ecc.) con il duplice scopo di raggiungere una maggiore sensibilità e di evitare segnali e rumori indesiderati. Inoltre è pericoloso usare quest'antenna, come tutte le antenne elettriche, durante i temporali poiché è possibile che tra due punti della superficie terrestre si manifesti, a causa di correnti prodotte da scariche elettriche, un'elevata differenza di potenziale.

L'antenna a coppia di elettrodi fornisce un segnale di intensità proporzionale alla distanza l tra gli elettrodi ed è, in certa misura, direttiva. I sottomarini usano questo tipo di antenna per ricevere comunicazioni in banda ELF. Essa è costituita da un cavo di materiale isolante, lungo un chilometro e del diametro di un centimetro, che il sottomarino in navigazione lascia uscire dalla torretta e che rimane disteso a poppa, all'incirca orizzontalmente, nell'acqua a causa del movimento del sottomarino stesso. Gli elettrodi sono costituiti da spirali di titanio avvolte all'esterno del cavo, una all'estremità remota rispetto al sottomarino e l'altra a 300 m da questa.

L'antenna magnetica ben nota a tutti è quella costituita da un lungo avvolgimento, con o senza nucleo ferromagnetico o da un avvolgimento su telaio. Quest'antenna è sintonizzabile sino a frequenze molto basse in quanto può far parte di un circuito risonante quando viene posta in parallelo ad una capacità di valore opportuno. Per scendere a circa 10 kHz, senza nucleo fer-

romagnetico occorrono circa 100 spire del diametro di un metro, in parallelo a circa 5000 pF. E' opportuno impiegare filo di sezione non inferiore ad un millimetro quadrato o filo Litz a molti capi (v. 7.2). L'antenna risulta direttiva e facilmente orientabile di modo che può essere impiegata per la determinazione della direzione di provenienza dei segnali, inoltre è meno sensibile delle antenne elettriche al rumore naturale o prodotto dall'uomo. Le ben note antenne con nucleo in ferrite LPF1R della E.G.Z. coprono, con diversi modelli, gli intervalli di frequenza da 10 a 30 kHz, da 30 a 100 kHz, da 100 a 450 kHz e così via.

Un altro tipo di antenna magnetica, per ora utilizzata solo a scopo sperimentale e per applicazioni militari, è quella basata sull'uso di uno SQUID. Questo nome deriva dalle iniziali di Superconducting QUantum Interference Device e il sistema consiste essenzialmente in una piccola spira, di diametro da 2 mm a qualche cm, di materiale superconduttore interrotta da una giunzione Josephson ed accoppiata magneticamente ad un circuito risonante parallelo di tipo convenzionale. Per le caratteristiche quantomeccaniche del suo comportamento uno SQUID presenta tipiche variazioni della supercorrente che circola nella spira quando varia il flusso magnetico esterno concatenato ad essa e può servire per la misura o per la rivelazione di deboli campi magnetici. Rivelatori basati su questo principio sono stati impiegati per ricevere segnali in banda ELF per le comunicazioni ai sottomarini, ma il loro impiego può essere esteso a tutte le frequenze utilizzate nelle comunicazioni. Un grande inconveniente degli SQUID è rappresentato dal fatto di dover operare a temperature tali che la spira sia superconduttrice. Fino a qualche anno fa era necessario utilizzare materiali che divenivano superconduttori a temperature di pochi gradi Kelvin; con lo sviluppo di nuovi composti che sono superconduttori a temperature relativamente alte (si è giunti fino a 125 K pari a circa - 148 C) si vanno aprendo interessanti prospettive per l'applicazione degli SQUID nel campo delle comunicazioni.

7. RIFERIMENTI

7.1 Clubs, gruppi e pubblicazioni

- *CQ Elettronica*, mensile (riporta frequentemente rapporti di ricezione ed articoli su ricevitori ed antenne per VLF), CD, Bologna

- *Electronic Today International*, mensile (comunicazioni via terra) Argus House, Boundary Way, Hemel, Hempstead, HP2 7ST, Gran Bretagna

- *The Lowdown*, mensile del Long Wave Club of America (DX e sperimentazione sotto i 500 kHz, LOWFERS) Bill Oliver, 45 Wildflower Road, Levittown, PA 19057 U.S.A.

- *Monitoring Times*, mensile (tutti gli aspetti delle radiocomunicazioni) P. O. Box 98, Brasstown, NC 28902, U.S.A.

- *Popular Communications*, mensile (tutti gli aspetti delle radiocomunicazioni) 76 North Broadway, Hicksville, NY 11801, U.S.A.

- *Radiorama*, mensile dell'Associazione Italiana Radioascolto (tutti gli aspetti delle radiocomunicazioni) C. P. 873, 34100 Trieste

- *VLF Experimenter's Newsletter* (rivelazione via radio di brillamenti solari) 121 Chesapeake Avenue, Lake Hiawatha, NJ 07034, U.S.A.

7.2 Ditte produttrici

- *Cofili*, v. priv. Schiatti, 8, 20057 Veduggio al Lambro (MI) (commercializza filo Litz della Elektrisola)

- *Conversion Research*, P.O. Box 535, Descanso, CA 91916, U.S.A.

- *Datong Electronics*, c/o AR Technical Products, Inc., P.O. Box 62, 877 Adams, Birmingham, MI 48012, U.S.A.

- *E.G.Z. - Costruzioni Elettroniche*, C.P. 56, 27026 Garlasco (PV)

- *ERE - Radiocomunicazione*, v. ex Strada per Pavia 4, 27049 Stradella (PV)

- *Nuova Elettronica*, v. Cracovia, 19, 40139 Bologna

- *Palomar Engineers*, P.O. Box 455, Paradise, CA 95969, U.S.A.

7.3 Bibliografia

- L. P. Carron Jr., *The World Below 500 kilohertz*, Universal Radio Research, Reynoldsburg, U.S.A., 1990 (rassegna delle emissioni VLF ricevibili negli Stati Uniti)

- F. Magrone e M. Vinassa de Regny, *Top Secret Radio*, CD, Bologna, 1985 (elenco di radiolari ricevibili in Italia)

- F. Magrone e M. Vinassa de Regny, *Top Secret Radio 2*, CD, Bologna, 1990 (capitolo dedicato alle VLF)

- M. L. Burrows, *ELF Communication Antennas*, Peter Peregrinus, Stevenage, Gran Bretagna, 1978 (teoria delle antenne per comunicazioni in banda ELF)

- U. G. Krebsler, *Sprechfunk CW-RTTY-FAX*, Poly-Verlag, Basserdorf, Svizzera (edizione annuale; elenca circa 150 stazioni di utilità al di sotto delle OM e fornisce l'assegnazione dettagliata delle VLF)

- J. Klingenfuss, *Guide to Utility Stations*, Tübingen, Germania (edizione annuale; molto ricca di dati per le stazioni di utilità in OC, nel campo VLF fornisce l'assegnazione dettagliata delle frequenze e dati sulle stazioni FAX e meteo)

8. RINGRAZIAMENTI

E' un piacere e un dovere esprimere la mia gratitudine agli amici che mi hanno fornito materiale e suggerimenti per la stesura della presente monografia. In particolare desidero ringraziare Roberto Arienti per le dettagliate informazioni sulle emissioni di tempo delle stazioni russe, Gianni Palandra per le informazioni sull'esistenza delle emissioni dell'ENEL, Luigi Cobisi, Filippo Baragona ed Elio Fior che mi hanno inviato interessante documentazione sui ricevitori per VLF, Flavio Gori che mi ha stimolato a partecipare insieme a lui al programma SEPAC/INSPIRE e mi ha fornito la relativa documentazione ed Andrea Ravetta la cui collaborazione si è dimostrata sempre utilissima.

Desidero infine ringraziare Alberto Gandolfo ed Alessandro Gropazzi per avermi offerto la possibilità di pubblicare questa monografia come inserto speciale di *Radiorama*.